Drehstrommotor und Prüfeinrichtung

Aufgaben

1 Im Stator eines Drehstrommotors befinden sich drei Spulen, welche sowohl in der Stern- als auch in der Dreieckschaltung betrieben werden können. Die Spulen besitzen neben dem Blindwiderstand X_L auch einen ohmschen Widerstand R, welche zusammen den komplexen Schweinwiderstand $\underline{Z}$ bilden. Weil die Scheinwiderstände der Spulen im Normalfall identisch groß sind, wird das Drehstromnetz symmetrisch belastet. Der Hersteller des Drehstrommotors hat sich bei dessen Entwicklung an den Kennwerten des deutschen Drehstromnetzes orientiert. In den folgenden Aufgaben wird nicht nur der Normalbetrieb des Drehstrommotors betrachtet, es werden auch Abweichungen und Fehler berücksichtigt. Damit sind sowohl abweichende Kenngrößen des verwendeten Drehstromnetzes als auch Schaltungsfehler (ungewollte Leitungsunterbrechungen) gemeint.

1.1 Der Drehstrommotor wird in der Sternschaltung (Material 1) betrieben.

1.1.1 Die zeitlichen Verläufe der Strangspannungen $\underline{U}_{1N}$, $\underline{U}_{2N}$ und $\underline{U}_{3N}$ sowie der Leiterströme $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$ und $\underline{I}_3$ sind in Material 2 und Material 3 gegeben. Berechnen Sie die Effektivwerte aller Strangspannungen und Leiterströme sowie den komplexen Scheinwiderstand $\underline{Z}_1$. Erklären Sie unter Verwendung des Diagramms in Material 3 den nicht vorhandenen Strom durch den Neutralleiter.

(8 BE)

1.1.2 Für den in der Sternschaltung betriebenen Motor (Material 1) sind folgende Werte gegeben:

$$\underline{U}_{1N} = 230\,\mathrm{V} \cdot e^{j0°}$$

$$\underline{U}_{2N} = 230\,\mathrm{V} \cdot e^{-j120°}$$

$$\underline{U}_{3N} = 230\,\mathrm{V} \cdot e^{j120°}$$

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = 57\,\Omega + j50{,}27\,\Omega$$

Berechnen Sie die Ströme $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$, $\underline{I}_3$ und $\underline{I}_N$ sowie die vom Motor insgesamt aufgenommene Schein-, Wirk- und Blindleistung.

(9 BE)

1.1.3 Der Drehstrommotor wurde bei seiner Herstellung so konzipiert, dass er am deutschen Drehstromnetz im Nennbetrieb läuft. Dieses Netz besitzt die Strangspannung $U_{Str} = 230\,\mathrm{V}$ und die Frequenz $f = 50\,\mathrm{Hz}$. In einigen Ländern besitzen die Drehstromnetze allerdings andere Kenngrößen. Der Motor wird in ein Land exportiert, dessen Drehstromnetz die Strangspannung $U_{Str} = 220\,\mathrm{V}$ und die Frequenz $f = 60\,\mathrm{Hz}$ besitzt.
Erklären Sie anhand aller erforderlichen mathematischen Zusammenhänge und Formeln die Auswirkungen dieser geänderten Betriebsbedingungen auf die Beträge und die Phasenwinkel der Ströme $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$, $\underline{I}_3$ und $\underline{I}_N$.

Hinweis: Es sind keine Berechnungen durchzuführen.

(10 BE)

1.2 Der Drehstrommotor wird in der Dreieckschaltung (Material 4) betrieben. Es gelten folgende Werte:

$\underline{U}_{12} = 400\,\text{V} \cdot e^{j30°}$

$\underline{U}_{23} = 400\,\text{V} \cdot e^{-j90°}$

$\underline{U}_{31} = 400\,\text{V} \cdot e^{j150°}$

$\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{23} = \underline{Z}_{31} = 57\,\Omega + j50{,}27\,\Omega$

1.2.1 Der Motor wird fehlerfrei betrieben. Berechnen Sie alle komplexen Strang- sowie Leiterströme und stellen Sie diese als Zeiger in der Gaußschen Zahlenebene maßstäblich dar.

Hinweis: Es gilt der Maßstab: $1\,\text{A/cm}$.

(17 BE)

1.2.2 Durch mechanische Einwirkungen kommt es zu einer Unterbrechung des Leiters L1. Berechnen Sie die komplexen Leiterströme $\underline{I}_2$ und $\underline{I}_3$ sowie die komplexen Spannungen über den Widerständen $\underline{Z}_{12}$ und $\underline{Z}_{31}$.

(10 BE)

1.2.3 Ein Drahtbruch innerhalb des Motors bewirkt, dass der Betrag des Widerstands $\underline{Z}_{12}$ gegen unendlich geht. Berechnen Sie die komplexen Leiterströme $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$ und $\underline{I}_3$.

(8 BE)

2 Eine Firma produziert Holzplatten, deren Abmessungen bzgl. Länge und Breite innerhalb eines Toleranzbereichs liegen müssen. Material 5 zeigt eine entsprechende Prüfeinrichtung, welche vier Lichtschranken mit den Bezeichnungen B_{MIN}, B_{MAX}, L_{MIN} und L_{MAX} besitzt. Wird die Holzplatte in die Prüfeinrichtung gelegt, werden je nach Größe der Platte die Lichtstrahlen der Lichtschranken unterbrochen oder nicht unterbrochen. Bei Unterbrechung der Lichtstrahlen erzeugen die Lichtschranken am Ausgang ein LOW- und ansonsten ein HIGH-Signal. Die Abmessungen der in Material 5 beispielhaft dargestellten Holzplatte liegen innerhalb des Toleranzbereichs, deshalb erzeugen die Lichtschranken B_{MIN} und L_{MIN} ein LOW- und die beiden anderen ein HIGH-Signal.
Die Lichtschranken sind mit einem Mikrocontroller verbunden, der die Signale auswertet. In Abhängigkeit der Signalzustände werden vier LEDs angesteuert, welche die Farben Rot, Orange, Gelb und Grün besitzen. Es existiert bereits ein unvollständiger Programmcode in Material 6.

2.1 Ergänzen Sie den Schaltplan in Material 7.

Hinweis: Die Belegung der Pins des Mikrocontrollers ist im Programmcode (Material 6) festgelegt.

(6 BE)

2.2 Mit der Prozedur `setLEDs` (Material 6) werden alle vier LEDs gemeinsam angesteuert. Die Ausführung der Prozedur `setup` (Material 6) bewirkt u.a., dass alle LEDs gleichzeitig für eine bestimmte Zeit mit der Frequenz f_b blinken.
Erklären Sie die innerhalb der Prozedur `setup` stattfindenden Abläufe.
Berechnen Sie die Gesamtblinkzeit t_{ges} und die Blinkfrequenz f_b.
Nennen Sie zwei Vorteile der Verwendung von Prozeduren.

(10 BE)

2.3 Die Verarbeitung der von den Lichtschranken erzeugten Signale soll in der Prozedur `loop` erfolgen. Liegen beide Maße (Länge und Breite) des Bretts innerhalb des Toleranzbereichs, leuchtet ausschließlich die grüne LED. Die orange LED signalisiert, dass das Brett zu lang ist und nachbearbeitet werden muss. Ist es zu breit, so signalisiert das die gelbe LED. Auch dann ist eine Nachbearbeitung erforderlich. Ist das Brett sowohl zu lang als auch zu breit, so leuchten die gelbe und die orange LED. Wenn mindestens ein Maß unterschritten wird, das Brett also zu kurz oder bzw. und zu schmal ist, kann es nicht verwendet werden. In diesem Fall leuchtet ausschließlich die rote LED.
Implementieren Sie den Programmcode in der Prozedur `loop`.

Hinweis: Die Prozedur `setLEDs` (Material 6) ist zu nutzen.

(11 BE)

2.4 Das erstellte Programm soll von einer Arbeitskraft der Firma getestet werden, die sich im Homeoffice befindet und keinen Zugriff auf die Prüfeinrichtung hat. Sie verfügt zwar über nahezu alle benötigte Hardware, es fehlen allerdings die Lichtschranken. Deshalb sollen Taster mit jeweils einem Pull-Up-Widerstand mit $R = 10\,\text{k}\Omega$ als Ersatz verwendet werden.
Die Betätigung der Taster soll die Unterbrechung der Lichtschranken simulieren.
Ergänzen Sie die Schaltung in Material 8 exemplarisch für einen Taster und begründen Sie die Notwendigkeit des Pull-Up-Widerstands.
Berechnen Sie die Stromstärke im Pull-Up-Widerstand bei gedrücktem Taster.

(7 BE)

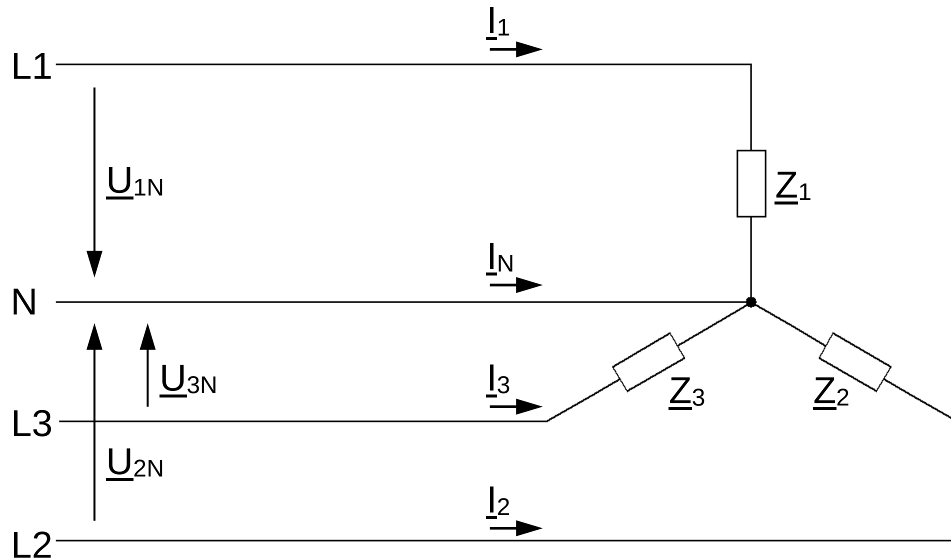
2.5 Wird die Holzplatte falsch in die Prüfeinrichtung gelegt, kann das zu falschen Prüfergebnissen führen. In Material 9 ist ein solcher Fall beispielhaft dargestellt. Es ist deshalb erforderlich die Prüfeinrichtung zu verbessern. Der prüfenden Arbeitskraft muss eindeutig signalisiert werden, dass die Platte korrekt in der Prüfeinrichtung liegt. Dafür sind Veränderungen an der Hard- und Software erforderlich.
Entwickeln Sie eine entsprechende Lösung.

Hinweis: Es ist kein Programmcode zu erstellen.

(4 BE)

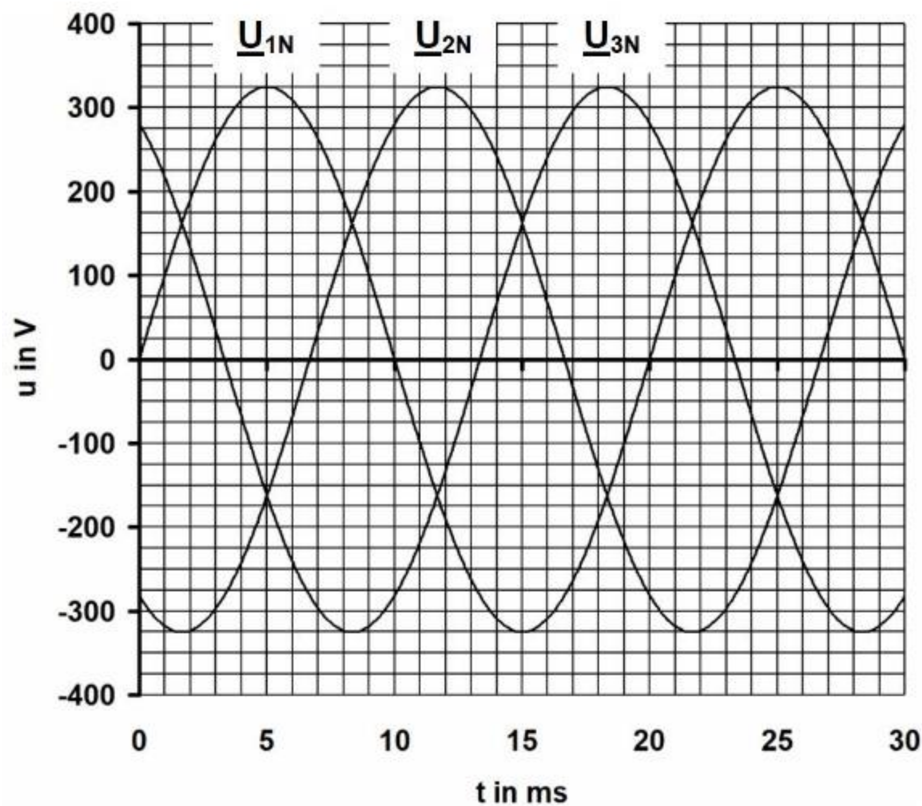
Material 1

Drehstrommotor in Sternschaltung



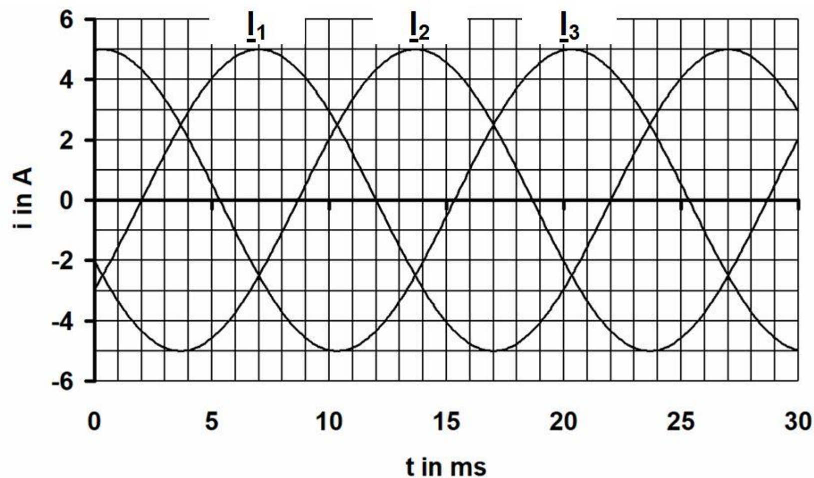
Material 2

Zeitliche Verläufe der Strangspannungen



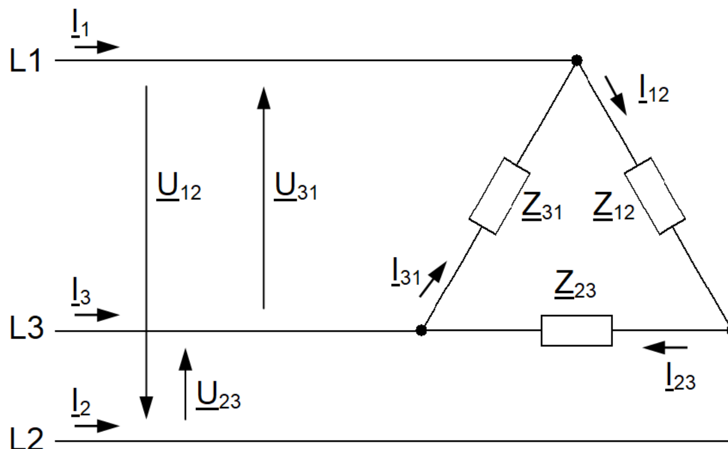
Material 3

Zeitliche Verläufe der Leiterströme



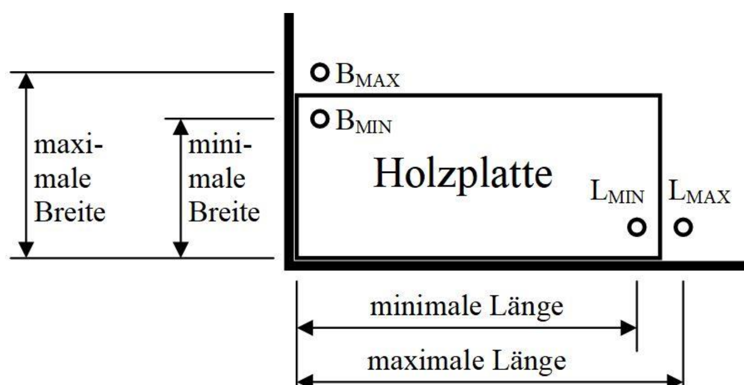
Material 4

Drehstrommotor in Dreieckschaltung



Material 5

Prüfeinrichtung



Material 6

Unvollständiger Programmcode

```
//Zuordnung der Pins für die Sensoren (Lichtschranken)und Aktoren (LEDs)
const int BMIN = 3;     //Lichtschranke für die minimale Breite
const int BMAX = 4;     //Lichtschranke für die maximale Breite
const int LMIN = 5;     //Lichtschranke für die minimale Länge
const int LMAX = 6;     //Lichtschranke für die maximale Länge
const int ROT = 9;      //LED für "Ausschuss"
const int ORANGE = 10;  //LED für "Brett zu lang"
const int GELB = 11;    //LED für "Brett zu breit"
const int GRUEN = 12;   //LED für "alle Maße sind OK"

void setup()
{
  pinMode(BMIN, INPUT);
  pinMode(BMAX, INPUT);
  pinMode(LMIN, INPUT);
  pinMode(LMAX, INPUT);
  pinMode(ROT, OUTPUT);
  pinMode(ORANGE, OUTPUT);
  pinMode(GELB, OUTPUT);
  pinMode(GRUEN, OUTPUT);

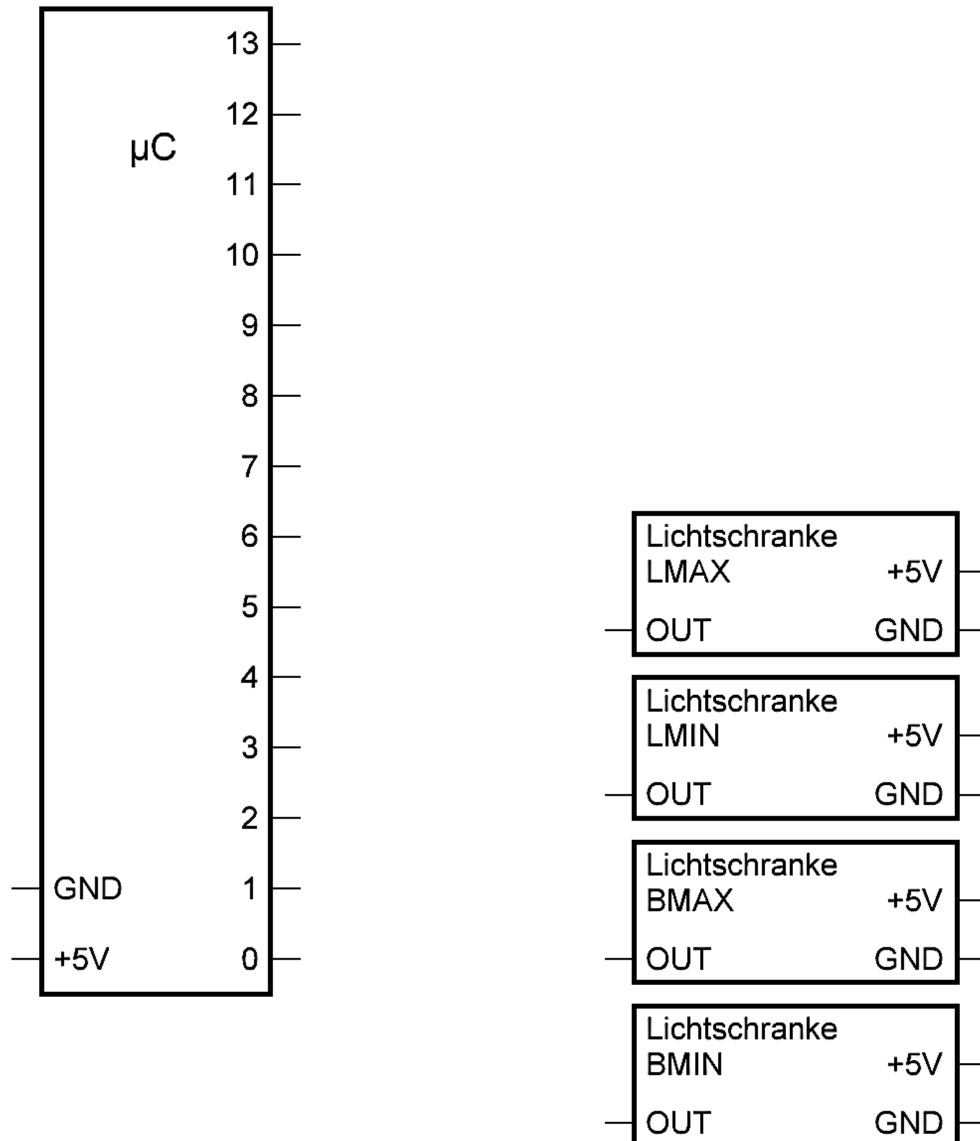
  for(int i = 0; i <= 2; i++)
  {
    setLEDs(HIGH, HIGH, HIGH, HIGH);
    delay(250);
    setLEDs(LOW, LOW, LOW, LOW);
    delay(250);
  }
}

void loop()
{
Hier fehlt Programmcode
}

void setLEDs(int statusROT, int statusORANGE, int statusGELB, int
statusGRUEN)
{
  digitalWrite(ROT, statusROT);
  digitalWrite(ORANGE, statusORANGE);
  digitalWrite(GELB, statusGELB);
  digitalWrite(GRUEN, statusGRUEN);
}
```

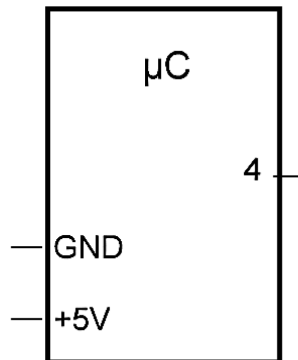
Material 7

Zu ergänzender Schaltplan



Material 8

Zu ergänzender Schaltplan



Material 9

Prüfeinrichtung mit falsch eingelegter Holzplatte

